

## מדי ספיקה לאוויר דחוס – יעילות, חיסכון ואמינות

אוויר דחוס הוא גז (בדרך כלל אוויר מהאטמוספירה) שנדחס לנפח קטן יותר בעזרת מדחס, כך שלחצו גבוה מהלחץ האטמוספרי הרגיל. מדובר באחת מצורות האנרגיה הנפוצות והשימושיות ביותר בתעשייה, מאחר שהוא קל להולכה, לניקוי, לאחסון ולהמרה לאנרגיה מכנית.

האוויר הדחוס משמש בכל מגזרי התעשייה:

- הפעלת כלים פנאומטיים (מברגות, פטישים וכו')
- הנעת שסתומים, בוכנות ומפעילים
- מערכות בקרה אוטומטיות
- פעולות ניקוי בלחץ
- ייבוש חומרים ותחזוקת ציוד

ברוב היישומים התעשייתיים, אוויר דחוס מסופק בטווח לחצים של **6 עד 8 בר** (bar), אם כי יש יישומים הדורשים לחצים גבוהים יותר (עד 30 בר ואף יותר) – בעיקר בתחומי תעופה, כרייה, או תעשיות תהליך ייחודיות.

ניתן לסווג מדחסי אוויר לשני סוגים עיקריים:

1. **מדחסים דינמיים** (כגון צנטריפוגליים): מתאימים לספיקות גבוהות בלחץ קבוע.
2. **מדחסים חיוביים** (כגון בוכנתיים או בורגיים): מספקים נפח אוויר מדויק יותר, עם עלייה הדרגתית בלחץ.

מדידת ספיקה של אוויר דחוס חיונית לניהול משאבי האנרגיה ולבקרה תפעולית. אוויר דחוס הוא משאב יקר – לא בשל האוויר עצמו, אלא בגלל האנרגיה הרבה הנדרשת לדחוס אותו. על פי הערכות שונות, עד 30% מהאוויר הדחוס בתעשייה "נאבד" עקב דליפות, שימוש יתר או תכנון לקוי של המערכת.

באמצעות מדי ספיקה ניתן:

- לזהות דליפות בצנרת
- לעקוב אחרי שימוש לא תקין או חריג
- לבצע חישוב צריכה לפי מחלקות או קווי ייצור
- לשפר יעילות תפעולית ותחזוקתית
- לאמוד ביצועי מדחסים ולתכנן התייעלות אנרגטית

כל קילוואט שעה שמושקע בדחיסת אוויר עולה כסף. זיהוי מוקדם של דליפות או חוסר איזון בין יחידות מאפשר למנוע בזבז של אלפי שקלים בחודש. התקנת מדי זרימה במיקומים אסטרטגיים ברחבי המפעל הופכת את מערכת האוויר הדחוס לשקופה יותר ומנוהלת טוב יותר.

## מד זרימה תרמי – איך זה עובד?

**מד זרימה תרמי** (Thermal Mass Flow Meter) הוא אחד מסוגי מדי הזרימה המתאימים ביותר למדידת אוויר דחוס. הוא פועל על פי עיקרון פיזיקלי פשוט:

כאשר גוף מחומם בא במגע עם גז זורם, הוא מאבד חום בקצב שתלוי במהירות זרימת הגז. מד הזרימה התרמי כולל שני חיישנים:

- **חיישן חום** – מחמם גוף או חוט
- **חיישן טמפרטורה** – מודד את קצב איבוד החום

הפרש הטמפרטורות בין החיישנים מתורגם למהירות זרימה, ומכאן ניתן לחשב את **ספיקה מסה** (mass flow) – ללא צורך במדידת לחץ וטמפרטורה נפרדות, מה שהופך את השיטה ליעילה

ומדויקת מאוד.

מדי ספיקה תרמיים (Thermal Mass Flow Meters) מודדים את **ספיקה המאסתית** של הגז – כלומר כמה קילוגרמים או גרמים של גז זורמים ביחידת זמן – לעומת מדי ספיקה וולומטריים שמודדים את **הנפח** שזורם (למשל, ליטרים לדקה).

## מדידה ישירה של ספיקה מסה (Mass Flow)

- מד תרמי מודד את **ספיקת המסה ישירות**, ללא צורך בהמרות מנפח למסה.
- באוויר דחוס, שבו נפח הגז משתנה משמעותית כתלות בלחץ ובטמפרטורה – זהו יתרון קריטי, כיוון שמדי נפח (Volumetric) עלולים לתת קריאה שגויה אם התנאים משתנים.

## אין צורך במדידה נפרדת של טמפרטורה ולחץ

- מד תרמי לא צריך **חיישני לחץ או טמפרטורה חיצוניים** לצורך פיצוי.
- הוא מסתמך על עקרון של פיזור חום בגז, שמשקף את כמות המסה העוברת – ללא תלות בתנאים התרמודינמיים.

## דיוק גבוה בטווח רחב של לחצים

- מאחר ואינו תלוי בצפיפות שמושפעת מלחץ – מדי ספיקה תרמיים נותנים מדידה עקבית גם כשיש תנודות בלחץ.

## תחזוקה נמוכה וחלקים נעים מינימליים

- חסרון נפוץ במדי נפח כמו טורבינות או אימפלרים הוא שחיקה, סתימות או תקלה מכנית – מה שאין במד תרמי (למעט סנסור חימום וחיישן טמפרטורה).

## יתרונות של מד זרימה תרמי לאוויר דחוס

- **דיוק גבוה בספיקות נמוכות וגבוהות כאחד**
- **אין חלקים נעים** –בלאי נמוך, תחזוקה מינימלית
- **מדידת ספיקה מסה ישירה** –בלי צורך בתיקון טמפרטורה או לחץ
- **עמידות גבוהה לאורך זמן**
- **מתאים להתקנה בצנרת קיימת (Insertion type)**

## תוספות אפשריות

- חיבור לרשת תקשורת תעשייתית (Modbus, Profibus)
- רישום נתונים (Data logging)
- שילוב במערכות ניהול אנרגיה תעשייתיות